

PUBLIÉES
SOUS
LA DIRECTION
DU
Pr A. FORTIER

MONOGRAPHIES
DE MÉCANIQUE
DES FLUIDES
ET THERMIQUE

MÉCANIQUE DES SUSPENSIONS

PAR A. FORTIER

MASSON & CIE

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE	1
CHAPITRE PREMIER — <i>Généralités sur la mécanique des suspensions</i>	3
1. Dispersions	3
2. Nomenclature	3
3. Limitations de l'étude. Objet de la mécanique des suspension	5
CHAPITRE II — <i>Similitude</i>	6
1. Considérations générales	6
2. Équations du mouvement	6
Équations du mouvement de la phase fluide	6
Équations du mouvement d'une particule solide	7
Nombre d'équations — nombre de variables — conditions aux frontières — conditions initiales	8
Poussée d'Archimède	8
3. Équations du mouvement mises sous forme adimensionnelle	9
4. Conditions de similitude	10
5. Cas d'un très grand nombre de particules de même nature et de même forme géométrique	11
Diamètre moyen des particules — granulométrie	11
Concentration moyenne des particules	12
Propriété de la fonction de distribution des diamètres — courbes granulométriques	13
6. Cas particuliers	14
Le centre d'inertie d'une particule coïncide avec le centre d'inertie de la particule	14
Similitude approchée	14
7. Cas d'une suspension de particules de formes différentes	16
CHAPITRE III — <i>Étude statistique du mouvement d'une suspension</i>	17
1. <i>Généralités et définitions</i>	17
Concentration locale	17
Vitesse des particules	18
Vitesse du fluide	19
Vitesse angulaire de rotation des particules, rotation du fluide, taux de déformation du fluide	19
Masse volumique de la suspension — Concentration massique	20
Vitesse de la suspension	20
2. <i>Équations du mouvement d'une suspension</i>	21
1. Équations de continuité ou de conservation de la masse	21
Cas d'une suspension de particules identiques	21
Cas général d'une suspension contenant k espèces de particules	23
2. Équations dynamiques du mouvement de la suspension	24
Cas d'une suspension de particules identiques	24
Équations du mouvement des particules	24
Équations du mouvement du fluide	27
Équations du mouvement de la suspension	28
Cas général d'une suspension contenant k espèces de particules	29

3. Étude de quelques cas particuliers	31
1. Mouvement d'une suspension de particules identiques animées de la même vitesse dans un élément de volume de suspension	31
Équations du mouvement des particules	31
Équations du mouvement du fluide dans le cas où la concentration est très faible	32
Cas où la vitesse du fluide est égale à la vitesse des particules	33
2. Cas où c et $c_p s / \rho$ sont petits devant 1	33
4. Remarque générale	33
CHAPITRE IV — <i>Mouvement d'un fluide contenant de très petites particules en suspension</i>	34
1. Généralités	34
Remarques préliminaires	34
Équations dynamiques du mouvement relatif du fluide par rapport à une particule	34
Linéarisation des équations du mouvement relatif	36
2. Étude du mouvement relatif du fluide lorsque les vitesses de translations et de rotation de la particule	36
1. Hypothèses du calcul	36
2. Choix des axes — équations du problème	37
3. Calcul de la solution	37
4. Expression des composantes de la vitesse relative	39
5. Validité des hypothèses sur le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité	40
6. Calcul du coefficient de viscosité du fluide homogène équivalent à la suspension	40
7. Cas des particules non sphériques	46
Mouvement d'une particule	40
Cas du cylindre allongé	46
Cas d'un ellipsoïde de révolution	47
Champ des vitesses relatives du fluide autour d'une particule	48
Énergie dissipée dans un volume de suspension — coefficient de viscosité de la suspension	48
8. Vérifications expérimentales	50
9. Forces exercées par le fluide en mouvement sur une particule sphérique	50
Application à la déformation d'une goutte	52
3. Le fluide qui entoure une particule sphérique est animé, loin de la particule, d'une vitesse de translation égale à celle de la particule, mais les vitesses de rotation sont différentes	53
Hypothèses du calcul	53
Choix des axes — conditions aux frontières	53
Calcul de la solution	53
Application — amortissement de la rotation d'une particule	55
4. Problème de Stokes — Le mouvement relatif du fluide loin d'une particule sphérique est un mouvement de translation uniforme	56
1. Hypothèses du calcul	56
2. Choix des axes — Calcul de la solution	56
3. Forces exercées par le fluide sur la particule	60
4. Validité des hypothèses — Influence du nombre de Reynolds	61
Calcul du rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité dans l'approximation de Stokes	62
Domaine de validité de la formule de Stokes — Extension aux grands nombres de Reynolds	62
5. Le mouvement relatif du fluide loin d'une particule sphérique est un mouvement de translation non uniforme	65
1. Linéarisation des équations	65
2. Différents cas γ à étudier	65

3. Sphère immobile immergée dans un fluide animé loin de la sphère de la vitesse de translation non uniforme $V(t)$	66
Calcul du champ des vitesses	66
Calcul des contraintes	70
Cas particulier où l'accélération du fluide est constante	71
4. Sphère animée d'un mouvement de translation non uniforme dans un fluide au repos loin de la sphère	72
5. Cas général	72
6. <i>Mouvement d'une sphère partant du repos sous l'action de la pesanteur dans un fluide immobile loin de la sphère</i>	73
1. Étude générale du problème	73
2. Cas particulier $\rho_s \gg \rho$	77
3. Résumé et généralisation des résultats obtenus	78
CHAPITRE V — <i>Étude de l'écoulement turbulent d'une suspension</i>	79
1. <i>Généralités sur la turbulence</i>	79
1. Définition des écoulements laminaires et turbulents	79
2. Passage de l'écoulement laminaire à l'écoulement turbulent	80
3. Valeurs moyennes et fluctuations	80
4. Caractère statistique d'un écoulement turbulent	81
5. Probabilité en mouvement turbulent	81
6. Coefficients de corrélation — Échelles des longueurs et des temps de la turbulence — Fonctions spectrales	83
Coefficients de corrélation en un point	83
Coefficients de corrélation en deux points — Longueurs de corrélation	84
Coefficients de corrélation dans le temps — Temps de corrélation	85
Fonctions spectrales	86
7. Turbulence homogène et isotrope	87
8. Relation entre les échelles des longueurs et des temps de la turbulence	88
2. <i>Application des résultats généraux sur la turbulence à l'écoulement turbulent d'une suspension</i>	90
1. Les concentrations volumique et massique sont petites devant 1	90
Le diamètre des particules est supérieur à l'échelle des gros tourbillons	90
Les particules sont plus petites que les plus petits tourbillons	91
La pesanteur est négligeable	91
Influence de la pesanteur	93
Les particules ont des dimensions intermédiaires entre les petits et les gros tourbillons	94
2. Les concentrations ne sont plus négligeables devant 1	95
3. Écoulement turbulent quelconque — Résumé des résultats	95
3. <i>Rappel des résultats fondamentaux sur les écoulements turbulents des fluides homogènes</i>	96
1. Écoulement turbulent établi dans un conduit cylindrique lisse de section rectangulaire très allongée	97
Résultats basés sur des considérations de similitude et sur les propriétés de symétrie des conditions aux frontières	97
Résultats expérimentaux	100
Répartition des vitesses moyennes	100
Calcul des coefficients de frottement et de perte de charge	102
Moyennes portant sur les fluctuations de vitesse	103
Moyennes portant sur les accélérations	106
Longueurs et temps de corrélation	106
2. Conduit cylindrique de section circulaire	107
3. Conduit cylindrique long de section quelconque	107
4. Couche limite turbulente	108
4. <i>Variations de la concentration moyenne dans l'écoulement d'une suspension</i>	108
1. Définition des coefficients de diffusion turbulente	108
2. Variations de concentration dans une suspension animée d'un mouvement moyen de translation, la turbulence étant homogène et isotrope	110

Le récipient contenant la suspension est fixe ou animé d'un mouvement de translation uniforme dans un espace sans pesanteur.	110
Le récipient contenant la suspension est fixe dans le champ de pesanteur ou animé d'un mouvement de translation uniformément accéléré	111
Calcul des variations de concentration moyenne suivant la verticale	111
Cas des petites particules identiques	112
Cas des grosses particules	114
Cas des très grosses particules	115
Cas d'une suspension de particules de diamètres différents	115
3. Variations de concentration dans l'écoulement turbulent établi d'une suspension dans un conduit cylindrique long	115
Le conduit est placé dans un espace sans pesanteur	115
Différence entre les vitesses moyennes du fluide et des particules	118
Résumé et applications numériques	119
Influence de la pesanteur	122
Les concentrations volumique et massique sont très petites devant 1	122
Cas général	126
Concentration spatiale — Concentration de transport	130
4. Variations de la concentration d'une suspension en écoulement turbulent dans un champ d'accélération d'entraînement	131
La suspension est animée d'un mouvement moyen de translation uniformément accéléré	131
La suspension est animée d'un mouvement moyen de rotation uniforme	131
La suspension est animée d'un mouvement moyen giratoire autour de l'axe d'un tuyau cylindrique	133
5. Pertes de charge dans les conduits	134
1. Pertes de charge dans les conduits cylindriques longs	134
Cas des très petites particules	134
Cas des petites particules	136
Conduit vertical	136
Conduit horizontal	136
Cas des grosses particules	139
Conduit vertical	139
Conduit horizontal	141
2. Pertes de charge singulières	142
CHAPITRE VI — Compléments et exemples	144
1. Mouvement d'une sphère fluide dans un milieu fluide	144
2. Étude du régime transitoire de la chute d'une goutte sphérique sous l'action de la pesanteur	150
3. Mouvement de particules sphériques pesantes dans un écoulement uniforme	153
4. Mouvement de particules sphériques pesantes dans un écoulement horizontal avec gradient vertical constant de vitesse	156
5. Captation par un obstacle de particules sphériques en suspension dans un aérosol	156
6. Captation de particules sphériques par un cylindre	158
7. Exemple de calcul de perte de charge en conduite	162
8. Étude d'un cyclone	162
9. Répartition des concentrations dans un canal	163
10. Répartition de la concentration dans un conduit cylindrique	165
11. Notions sommaires sur le mouvement Brownien	167



MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
120, boulevard Saint-Germain, Paris-VI^e
dépôt légal 1^{er} trimestre 1967
MARCA REGISTRA

IN^o 2799/84
FN^o 6165/84
1984 سبتمبر 03
ENAP/84
ALGER